

平成16年（2004年）新潟県中越地震

- 地震と地震動 -

増川 晋*

目 次			
緒 言	5	過去の主な地震	12
地震概要	5	結 言	13
震度及び加速度	6	参考文献	13
本震及び余震と活断層	10	Summary	15

緒 言

我が国は、環太平洋地震帯の中に位置し、世界の中でも極めて地震の発生が多い国である。平成7年（1995年）兵庫県南部地震を含め有史以来のおもな被害地震は414回に及んでいる（国立天文台，2005）。2003年には、宮城県沖の地震（2003年5月26日， M_j 7.1），宮城県北部の地震（2003年7月26日， M_j 6.4）及び「平成15年（2003年）十勝沖地震」（2003年9月26日， M_j 8.0）が発生し、震度6弱以上の観測が6回あった。

2004年10月23日には震度7を初めて計測震度計により観測した「平成16年（2004年）新潟県中越地震」（ M_j 6.8）が発生した。本地震は、地すべり地帯を主に大規模な斜面崩壊が多く発生し、地盤災害を特徴する地震であった。ため池、農道等の土構造物の地震時災害は基礎となる地盤の地震動に強く影響される。これらの土構造物の地震時挙動に影響する本地震の地震動の特徴を本地震での計測震度、最大加速度値及び加速度波形の周波数特性（パワースペクトル）によって検討し、加えて、これらの関係から現れる広域及び局所的な地震動の特徴を平成7年（1995年）兵庫県南部地震の地震動の特徴との比較による検討から明らかにする。

本報告における地震の諸元、各地の震度、強震波形等は、「地震年報 2004年」（気象庁，2005）及び気象庁HPの「平成16年（2004年）新潟県中越地震に関する各種資料等」（気象庁，2004a）の「報道発表資料」，「震度・発震機構・強震波形」や「平成16年（2004年）新潟県中越地震について-速報-」（気象庁，2004b）等を使用させて頂いた。また、独立行政法人防災科学技術研究所の強震ネットワークK-NET及び基盤強震観測網

KiK-netの加速度記録を使用させて頂いた。さらに、震央位置、震央と観測点や活断層の位置関係の描画にSEIS-PC（石川・中村，1997）を用いた。ここに記して感謝致します。

地震概要

平成16年（2004年）10月23日17時56分、新潟県中越地方（気象庁の地震情報で用いる震央地名）の深さ13kmで M_j 6.8の地震が発生し、新潟県の川口町^{*}で震度7、小千谷市、山古志村（現・長岡市）^{*}、小国町（現・長岡市）^{*}で震度6強、長岡市、十日町市^{*}、栃尾市（現・長岡市）^{*}、越路町（現・長岡市）^{*}、三島町（現・長岡市）^{*}、堀之内町（現・魚沼市）^{*}、広神村（現・魚沼市）^{*}、守門村（現・魚沼市）^{*}、入広瀬村（現・魚沼市）^{*}、川西町（現・十日町市）^{*}、中里村（現・十日町市）^{*}及び刈羽村^{*}で震度6弱を観測した（「^{*}」は地方公共団体によって設置された計測震度計による震度観測点、以下同様）。震度7の観測は、計測震度計による観測（1996年4月から）となってから初めて計測された。東北地方（青森県）から近畿地方（兵庫県）にかけて有感（震度1）から震度5強を観測した。また、同日18時3分に深さ9kmで M_j 6.3の地震が発生し最大震度5強を観測した。さらに、18時11分に深さ12kmで M_j 6.0の地震が発生し、小千谷市で震度6強、越路町（現・長岡市）^{*}及び小国町（現・長岡市）^{*}で震度6弱を観測した。さらに、18時34分に深さ14kmで M_j 6.5の地震（最大余震）が発生し、新潟県の十日町市^{*}、川口町^{*}、小国町（現・長岡市）^{*}で震度6強、川西町（現・十日町市）^{*}、小千谷市、六日町（現・南魚沼市）、松代町（現・十日町市）^{*}、堀之内町（現・魚沼市）^{*}、広神村（現・魚沼市）^{*}、大和町（現・南魚沼市）^{*}、安塚町（現・上越市）^{*}、入広瀬村（現・魚沼市）^{*}及び中里村（現・十日町市）^{*}で震度6弱を観測した。この最大余震において川口町^{*}で強震観測史

*造構部施設機能研究室

平成18年2月28日受理

キーワード：本震，余震，震度，加速度，パワースペクトル

上最大値となる2,515Galの最大加速度（三成分合成）が観測された。本震発生直後の1時間以内に震度6強の余震が2回発生する活発な余震活動があり、本地震の地震活動は、本震 - 余震型である。これらの震源は、北北東 - 南南西方向に長さ約30kmの範囲で分布している。それぞれ地震の震源域は、既知の活断層と直接対応していない。最大余震発生後、余震活動は減衰傾向にあったが、10月23日19時45分に M_j 5.7（最大震度6弱）、10月27日10時40分に M_j 6.1（最大震度6弱）、11月8日11時15分に M_j 5.9（最大震度5強）の地震が発生し、マグニチュード6以上の余震が4回、このうち二つの余震で最大震度6強、一つの余震で最大震度6弱と引き続き大きな余震が発生した。気象庁は、本地震により顕著な災害があったことから、地震直後の平成16年10月24日に本地震を「平成16年（2004年）新潟県中越地震」（英語名称：The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004）と命名した。また、「平成16年新潟県中越地震による災害」として激甚災害に指定されている（平成16年11月26日閣議決定、12月1日公布）。

本地震により、死者59人、負傷者4,805人（重傷636人、軽傷4,169人）、住家全壊3,175棟、住家半壊13,772棟、住家一部破損104,666棟、建物火災9棟などの被害が発生した（平成18年2月1日10時現在；総務省消防庁、2005）。

震度及び加速度

地震発生後に計測震度が気象庁に未入電となった観測点が多数あり、その後に順次遅れながらの入電となった。10月30日13時過ぎから、データが収集できていなかった県設置の川口町等の震度情報が、本震時のデータを含め、気象庁に入電している。これは、県及び電力会社による復旧作業により、震度計の稼働が回復し、観測したまま保持していたデータを送信したものと推測されている。また、11月2日、新潟県はヘリでの作業班移送によって山古志村役場の通信設備等の被害調査を行い、その作業過程において、県が役場に設置した震度計に本震の震度が観測されていたことを気象庁に連絡している。避難勧告地域での計測震度システムの稼働状況の確認、非常用発電の有効性や倒壊のおそれがある建物内の計測震度の伝達方法について問題点を投げかけることになった。

Fig.1に本震における各地の震度を示す。Fig.2にFig.1の各地の震度から推定した推計震度分布を示す。Fig.3にK-NETによる加速度分布を示す（独立行政法人防災科学技術研究所、2004a）。Fig.2とFig.3を比較すると震央近傍の等高線形状は類似している。Fig.1から震度発表地点は非常に多く存在している、一方、Fig.3中の三角印がK-NETの観測点である、Fig.1の震度発表地点に比較して観測点数は少ないが、ほぼ均等に分布している。

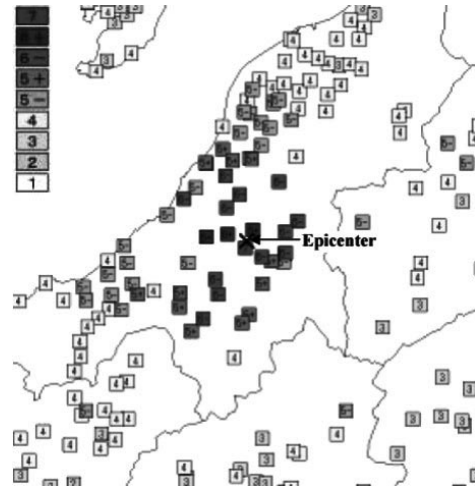


Fig.1 本震の震度（気象庁）
Seismic intensity of main shock (JMA)

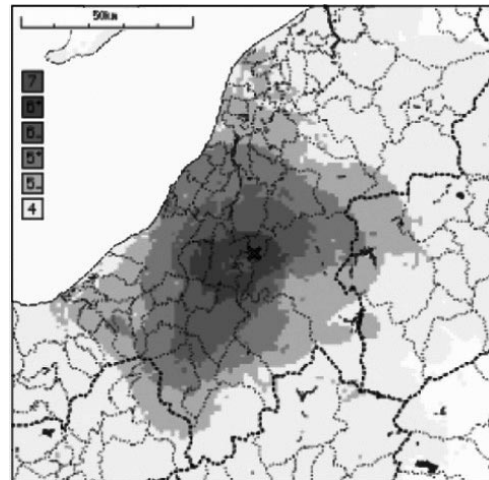


Fig.2 本震の推計震度分布（気象庁）
Estimation seismic intensity distribution of main shock (JMA)

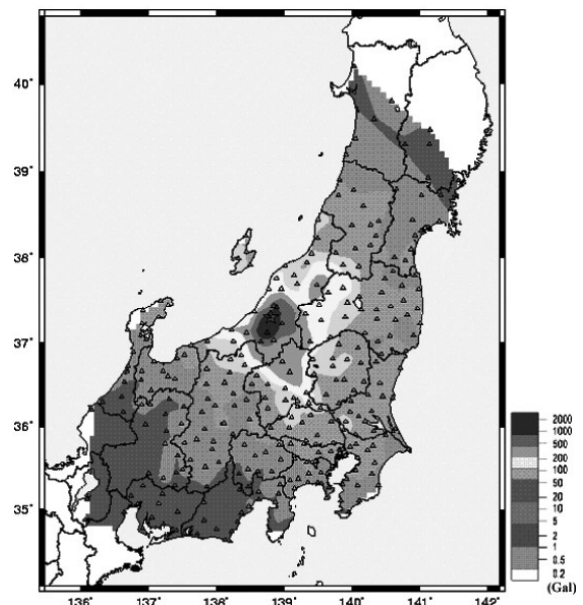


Fig.3 本震の加速度分布（K-NET）
Peak ground acceleration distribution of main shock (K-NET)

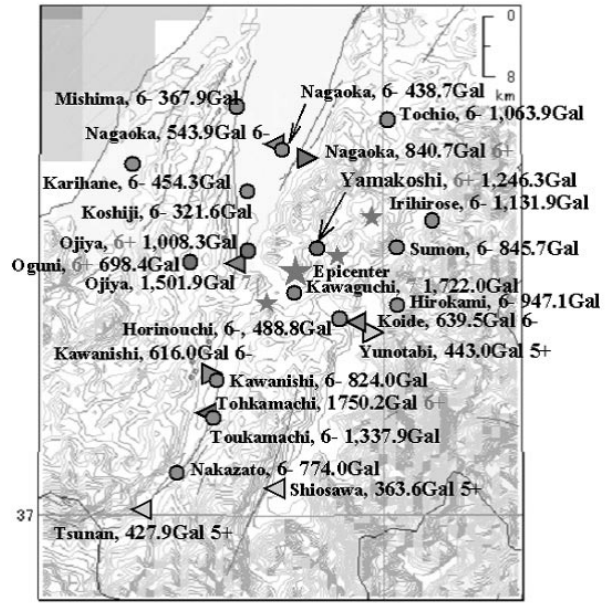
Table 1に震央近傍の震度観測点（JMA）と加速度観測点（K-NET及びKiK-net）の震度及び加速度を示す。KiK-netの加速度記録は地表面を用いた（以下同様）。表中の「Seismic intensity」（震度）の列における「5+」、「6-」及び「6+」はそれぞれ震度5強、6弱及び6強を示している。同列の括弧書きの震度は、加速度観測点の観測値を平成8年気象庁告示第4号（気象庁、1997）に基づいて計算した震度であり、気象庁が発表した震度情報に用いられた計測震度ではない（独立行政法人防災科学技術研究所、2004b）。表中の震央距離は、断層最短距離などではなく震央の点からの震央距離である（以下同様）。Table 1から、震度6強である小国町（現・長岡市）*（Oguni*）及び長岡（KiK-net：Nagaoka（NIGH01））の加速度値は、震度6弱の地点における加速度と一致する。また、震度6強の十日町（K-NET：Tohkamachi（NIG021））の加速度値は、震度7の川口町*（Kawaguchi*）及び小千谷（K-NET：Ojiya（NIG019））の加速度値を超えている。このように震度の大きさと加速度の大きさは必ずしも対応していないこと、これらの大きさが震央距離に比例して減少しないことが認められる。

Table 1 震度及び最大加速度
Seismic intensity and maximum acceleration

Seismic observation station	Agency	Seismic intensity	Maximum acceleration (Gal)				Epicentral distance (km)
			South-North (NS)	East-West (EW)	Vertical (UD)	Combining three-component	
Kawaguchi*	JMA	7	1141.9	1675.8	869.6	1722.0	2.4
Ojiya(NIG019)	K-NET	(7)	1147.3	1307.9	820.2	1501.9	7.0
Yamakoshi*	JMA	6+	538.4	721.8	1059.1	1131.9	4.1
Ojiya	JMA	6+	779.2	897.6	730.8	1008.3	6.9
Oguni*	JMA	6+	394.6	691.8	339.5	698.4	13.6
Nagaoka(NIGH01)	KiK-net	(6+)	818.3	655.3	375.4	840.7	15.2
Tohkamachi(NIG021)	K-NET	(6+)	1715.5	849.6	564.4	1750.2	21.0
Horinouchi*	JMA	6-	462.9	400.0	371.0	488.8	8.3
Koide(NIG020)	K-NET	(6-)	521.4	407.4	312.1	639.5	10.6
Koshiji*	JMA	6-	221.8	227.1	233.8	321.6	12.2
Sumon*	JMA	6-	565.6	433.3	715.3	845.7	13.3
Hirokami*	JMA	6-	352.4	918.4	362.2	947.1	13.6
Nagaoka	JMA	6-	395.8	430.3	324.5	438.7	16.2
Nagaoka(NIG017)	K-NET	(6-)	468.4	369.0	331.0	543.9	16.8
Kawanishi(NIGH11)	KiK-net	(6-)	454.4	587.9	325.2	616.0	17.1
Kawanishi*	JMA	6-	681.4	648.7	477.5	824.0	17.2
Irihirose*	JMA	6-	992.3	758.9	275.8	1246.3	18.7
Toukamachi*	JMA	6-	1161.0	665.0	405.8	1337.9	21.8
Tochio	JMA	6-	665.7	764.6	369.3	1063.9	22.9
Mishima*	JMA	6-	283.3	345.7	219.0	367.9	22.9
Karihane*	JMA	6-	323.6	318.8	156.0	454.3	25.3
Nakazato*	JMA	6-	617.7	747.8	241.0	774.0	30.4
Yunotani(NIGH12)	KiK-net	(5+)	410.0	345.4	324.8	443.0	12.6
Tsunan(NIG023)	K-NET	(5+)	397.0	274.6	86.5	639.5	36.1

Fig.4に震央と震度発表地点（JMA）、K-NET及びKiK-netの加速度観測点の位置を示す。図中の「5-」、「5+」、「6-」及び「6+」はそれぞれ震度5弱、5強、6弱及び6強、加速度値は三成分合成加速度の最大値を示している。この図から、近接している観測点において震度や最大加速度に相違が現れている。震度6強の観測点の分布は、魚沼丘陵の長軸に沿った方向に伸びて分布し、Fig.2に示した気象庁の推計震度分布と少し異なっている。

Fig.5に気象庁の計測震度観測点（JMA）とK-NET及びKiK-netの最大加速度（三成分合成）の距離減衰を示す。このFig.5から、震央近傍で加速度値は非常にばらついている。これは、震央距離を震央の点からの距離としたため断層面で発生する地震動の距離減衰と異なっ



● : JMA ◀ : K-NET ▶ : KiK-net

Fig.4 震央と震度発表地点、K-NET及びKiK-netの観測地点の位置

Location of observation stations at JMA, K-NET and KiK-net

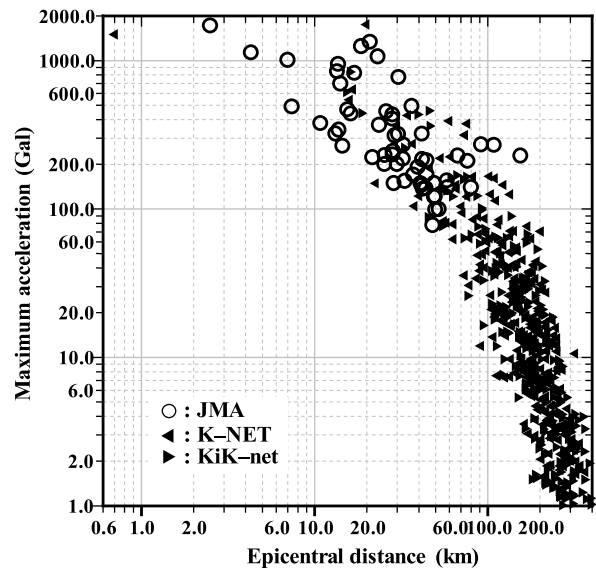


Fig.5 最大加速度の距離減衰

Maximum acceleration attenuation for epicentral distance

ているためと考えられる。また、ローカルサイトエフェクトの影響に加えて、震源逆解析によって浅い位置に特定されたアスペリティと観測点との位置関係や断層破壊が近づく位置の観測点では断層面に直行する方向に大きな地震動が生じる指向性地震波の影響も考えられる（久田、2005）。震央からある程度離れた震央距離において、震央距離が同一の震央距離であっても加速度値はある幅をとっていることから、上記の種々の影響によって、加速度値にばらつきが現れていると考えられる。

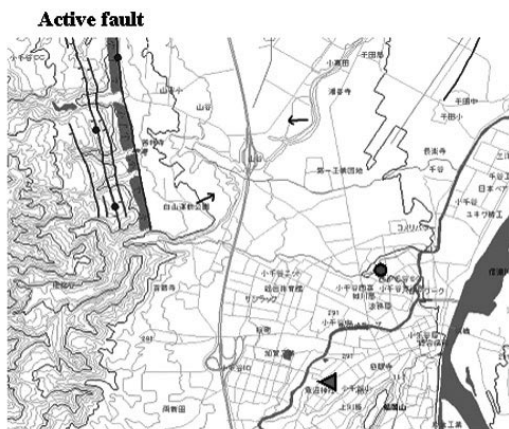
Figs.1、3及びTable 1に示したように、本地震では、独立行政法人防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-

net, 気象庁, 自治体などの強震計により多くの強震記録が得られている。断層の上盤側にあたる断層の北西側において震度6強以上の強い地震動が観測されている。中でも震度7(計測震度6.5)を観測した川口町^{*}では、最大加速度1,722cm/s²(三成分合成)が記録されている。小千谷(JMA)では最大加速度約900 cm/s², 最大速度約85cm/sである。一方, この小千谷(JMA)の南南西約800mに位置する小千谷(K-NET)では, 最大加速度約1,300 cm/s², 最大速度約130cm/sと非常に大きな地震動が観測されている(翠川ら, 2004)。これらの2観測点の位置関係をFig.6に示す。小千谷(JMA)と小千谷(K-NET)における最大加速度の大きさの相違は地盤構造の差による地盤の非線形化が現れている。この非線形化はFig.7に示すように最大加速度値の大きな小千谷(K-NET)における加速度波形(Fig.7の下図)は, 正弦波を重ね合わせた波形ではなく非常に鋭いピークを持つ尖った波形である。このような波形は地盤の非線形化の中でも大振幅時に密な砂地盤での液化現象である「サイクリック・モビリティ」と呼ばれる現象が生じていることを示している(纈綱ら,

2005)。両観測点でのボーリング調査, PS検層及び室内動的試験の結果から, 小千谷(K-NET)の表層3m程度の軟弱なシルト質粘土または腐植土と小千谷(JMA)の表層3m程度の砂質シルトからなる地層の相違により小千谷(JMA)に比して小千谷(K-NET)の地盤の方が, 同じせん断ひずみに対して大きなせん断剛性比と小さな減衰定数であることから両観測点における地震動に大きな違いが生じたと推察されている(時松ら, 2005)。

長岡(K-NET)では最大加速度約470cm/s², 最大速度約50cm/sであった。十日町(K-NET)では, 最大加速度約1,700 cm/s²を記録し, 小千谷(K-NET)以上の大きな加速度が観測されているが, 速度波形ではその振幅は小千谷に比べるとやや小さくなり, 最大速度で約50cm/sであったと報告されている(翠川ら, 2004)。

Fig.8に震央近傍の川口^{*}(JMA), 山古志^{*}(JMA)及び平成7年(1995年)兵庫県南部地震の神戸海洋気象台(Kobe(JMA))のパワースペクトルを示す。パワースペクトルの計算に際しては, 最大8,192個までの記録を使用し, Hanningウィンドウを用いて平滑化を行った(例えば, 日野, 1997)。このFig.8から, 川口及び山古志の2観測点において, 川口のNS成分を除いて, 1Hz以下のパワが神戸海洋気象台より大きい。また, 両観測点共に, 特に川口においては, 3Hz以上の高い振動数領域のパワも神戸海洋気象台より大きい。これらから, 川口町及び山古志村における地震動は, 神戸海洋気象台における地震動と同程度または同程度以上の強い地震動であったと推定される。なお, 神戸海洋気象台の位置は平成7年(1995年)兵庫県南部地震の最大震度の範囲ではない(ローマ数字は1996年1月までの気象庁震度階級であり以下同様である(気象庁, 1997))。



● : Ojiya(JMA) 6+ 1,008.3Gal
 ▲ : Ojiya(K-NET) 1,501.9Gal

Fig.6 小千谷(JMA)と小千谷(K-NET)の位置(活断層詳細デジタルマップ(中田ら, 2002)に加筆)
 Location of Ojiya (JMA) and Ojiya (K-NET) (Digital active fault map of Japan (Nakata et al., 2002))

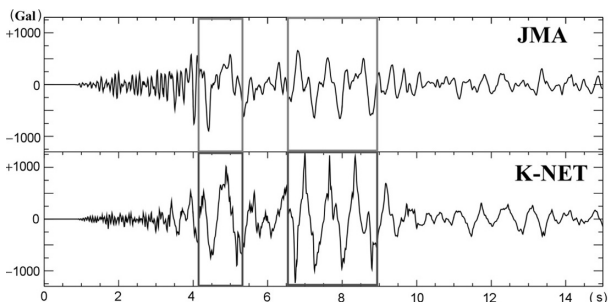


Fig.7 小千谷(JMA)と小千谷(K-NET)の加速度波形(纈綱ら(2005)に加筆)
 Acceleration waves of Ojiya (JMA) and Ojiya (K-NET) (Koketsu et al., 2005)

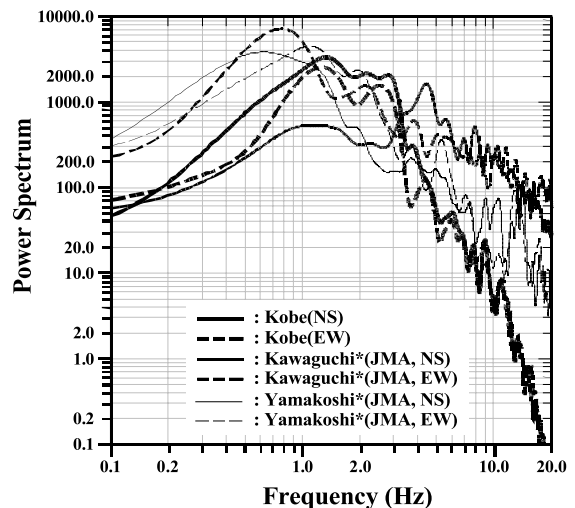


Fig.8 川口^{*}(JMA), 山古志^{*}(JMA)及び神戸海洋気象台(JMA)のパワースペクトル
 Power spectrum of Kawaguchi^{*}(JMA), Yamakoshi^{*}(JMA) and Kobe (JMA)

Fig.9に小千谷（JMA）、小千谷（K-NET）及び神戸海洋気象台（JMA）のパワースペクトルを示す。このFig.9から、小千谷（K-NET）でのパワースペクトルは1.4Hz付近に明瞭なピークが現れている。小千谷（K-NET）のこの明瞭なピーク以外は全振動数領域で神戸海洋気象台（JMA）と同程度のパワーであり、3Hz以上の高い振動数領域においてパワーが大きい。小千谷（JMA）も同様に全振動数領域で神戸海洋気象台（JMA）と同程度のパワーである。これらから、小千谷市における地震動は神戸海洋気象台における地震動と同程度の強い地震動であったと推定される。前述の翠川ら（2004）、瀧澤ら（2005）及び時松ら（2005）において指摘された小千谷（JMA）と小千谷（K-NET）における最大加速度の大きさの違いに影響した地盤構造の相違が、小千谷（K-NET）でのパワースペクトルにおける1.4Hz付近の明瞭なピークとして現れていると考えられる。

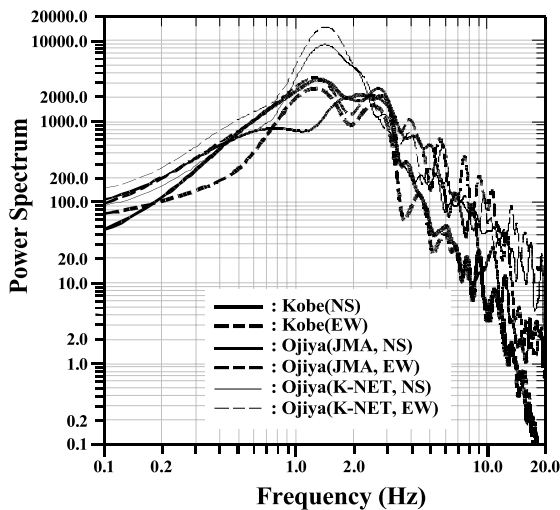


Fig.9 小千谷（JMA及びK-NET）及び神戸海洋気象台（JMA）のパワースペクトル
Power spectrum of Ojiya (JMA and K-NET) and Kobe (JMA)

Fig.10に川口^{*}（JMA）、小千谷（JMA）、小千谷（K-NET）、山古志^{*}（JMA）及び十日町（K-NET）のパワースペクトルを示す。図にプロットしたパワースペクトルは、三成分のうちで最も大きな最大加速度が記録された成分のパワースペクトルである。このFig.10から、十日町（K-NET）の2Hz以下のパワーが他の観測点のパワースペクトルと異なり小さく現れている。十日町（K-NET）の最大加速度はTable 1に示した観測点のなかで最も大きい最大加速度1,715.5Gal（NS成分）を記録しているが、加速度記録から求めた計測震度の換算値は震度6強であった。この十日町（K-NET）の最大加速度値は、震度7であった川口^{*}（JMA）の1,675.8Gal（EW成分）より大きい。このように最大加速度の大きさに比べて震度が川口^{*}（JMA）より小さくなる原因は、パワースペクトルにおいて3Hz以下のパワーが小さいことによる。計測震

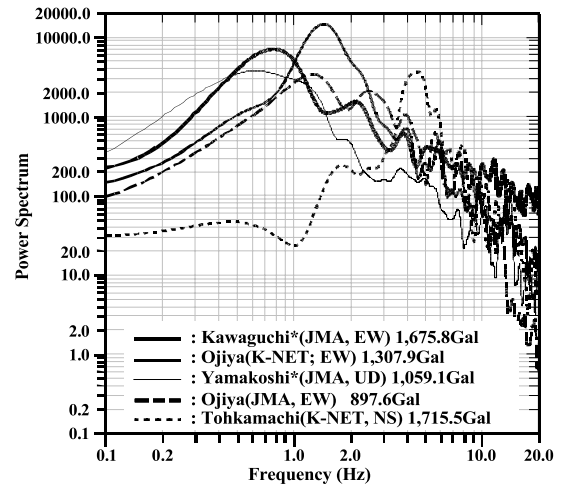


Fig.10 川口^{*}（JMA）、小千谷（JMA及びK-NET）、山古志^{*}（JMA）及び十日町（K-NET）のパワースペクトル
Power spectrum of Kawaguchi^{*} (JMA), Ojiya (JMA and K-NET), Yamakoshi^{*} (JMA) and Tohkamachi (K-NET)

度の算出において、1.0Hzで倍率が1となり、加速度記録の低振動数側を強調するフィルター特性となっているため（気象庁、1997）、十日町（K-NET）の波形のように高い振動数領域にパワーが存在しても計測震度の算出におけるフィルター特性でカットされて計測震度に影響を及ぼしにくいと考えられる。

Fig.11に長岡（JMA）、長岡（K-NET）、長岡（KiK-net）、長岡支所（K-NET）及び神戸海洋気象台（JMA）のパワースペクトルを示す。このFig.11から、長岡（KiK-net）と神戸海洋気象台（JMA）は、高い振動数領域（4Hz以上）を除いて全振動数領域で類似したスペクトルが現れている。長岡（JMA）と長岡（K-NET）は、全振動数領域において類似したスペクトルが現れて

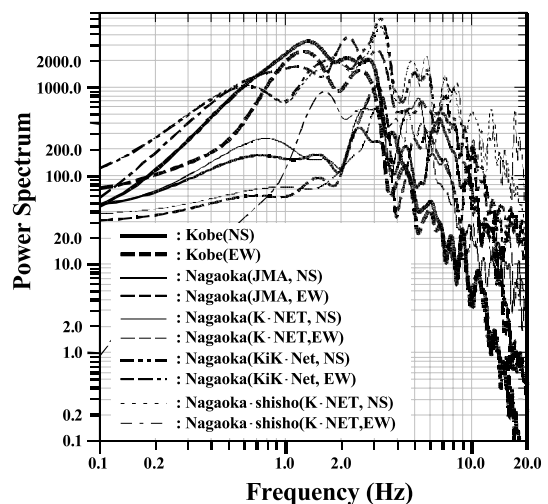


Fig.11 長岡（JMA、K-NET及びKiK-net）、長岡支所（K-NET）及び神戸海洋気象台（JMA）のパワースペクトル
Power spectrum of Nagaoka (JMA, K-NET and KiK-net), Nagaoka-shiso (K-NET) and Kobe (JMA)

いる。これらの2観測点は、長岡 (KiK-net) と神戸海洋気象台 (JMA) の2観測点のスペクトル特性と比較して、低い振動数領域 (3Hz以下) においてパワが小さく現れている。長岡 (JMA) と長岡 (K-NET) は近接した観測点であるが、長岡 (KiK-net) は地形的にも前者の2観測点とは異なっている。長岡の3観測点においても小千谷の2観測点と同様に観測点毎にスペクトル特性は異なっており、観測点位置の違いによって地盤構造等の相違によるローカルサイトエフェクトが現れている。

Fig.12にFig.11と同様に近接した観測点である川西* (JMA), 川西 (KiK-net) 及び神戸海洋気象台 (JMA) のパワスペクトルを示す。このFig.12から、川西* (JMA) と川西 (KiK-net) は全振動数領域で類似したスペクトルが現れている。両観測点ともに2~3Hzにおいてピークが現れている。これまでに検討した観測点と同様に3Hz以上の高い振動数領域において神戸海洋気象台 (JMA) よりパワが大きい。川西* (JMA) は震度6弱であるが、Fig.12のパワスペクトルからは川西町における地震動は神戸海洋気象台における地震動より小さい地震動であったと推定される。川西の2観測点は、前述の近接した観測点のパワスペクトルを比較した小千谷の2観測点や長岡の3観測点と比べてローカルサイトエフェクトがあまり現れていない。川西* (JMA) と川西 (KiK-net) の両観測点の位置の違いは、小千谷 (JMA) と小千谷 (K-NET) の2観測点の位置の相違と距離的にほぼ同じである。

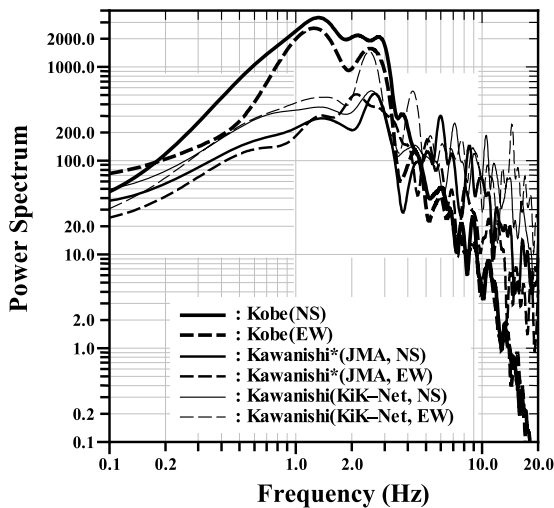


Fig.12 川西 (JMA及びKiK-net) 及び神戸海洋気象台 (JMA) のパワスペクトル
Power spectrum of Kawanishi (JMA and KiK-net) and Kobe (JMA)

本震及び余震と活断層

本震発生後の約1時間にマグニチュード6以上の余震を3つ伴うなど余震活動は活発であり、西傾斜の断層を

2枚形成した。10月27日にはそれらの共役断層で M_j 6.1の地震が発生し、マグニチュード6及び5クラス余震活動が活発であった。11月上旬には、マグニチュード5を超える余震は主に余震域の北部で発生したが、その後は余震域全体で活動は低下している。Figs.13及び14に震央分布及び震央の時空間分布を示す。Fig.14の縦軸はFig.13中のA - B投影である。

主な地震の発震機構は、北西 - 南東方向に圧力軸を持つ

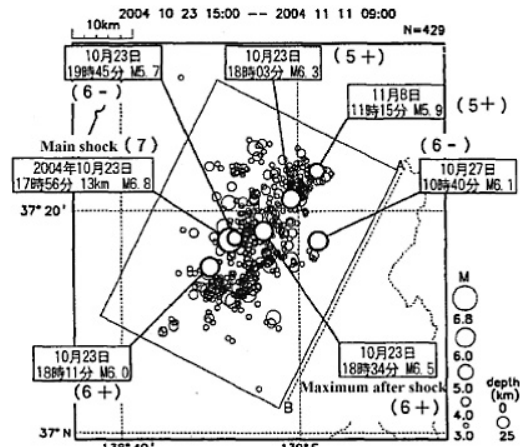


Fig.13 震央分布 (気象庁)
Distribution of epicenters (JMA)

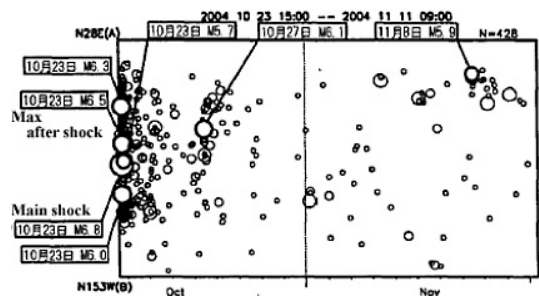


Fig.14 時空間分布 (気象庁)
Space-time distribution of epicenters (JMA)

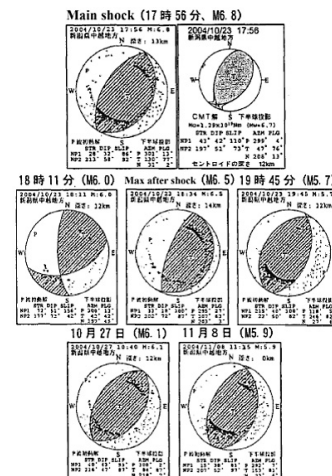


Fig.15 初動発震機構解 (気象庁)
Initial focal mechanism solutions (JMA)

つ逆断層型で、この付近ではよくみられるものである。しかし、それ以外のものも少なからず起こっている。Fig.15に本震及び余震の地震波のP波の初動を用いた初動発震機構解を示す（Fig.15上段に示した本震は、右図にCMT（Centroid Moment Tensor）解も示している）。Fig.15中段の左図に示された18時11分に発生した地震は他の地震の発震機構とやや異なっている。この図の右隣の図が最大余震の初動発震機構解である。また、Fig.16に本震及び1994年9月以降に発生した地震のCMT解を示す。

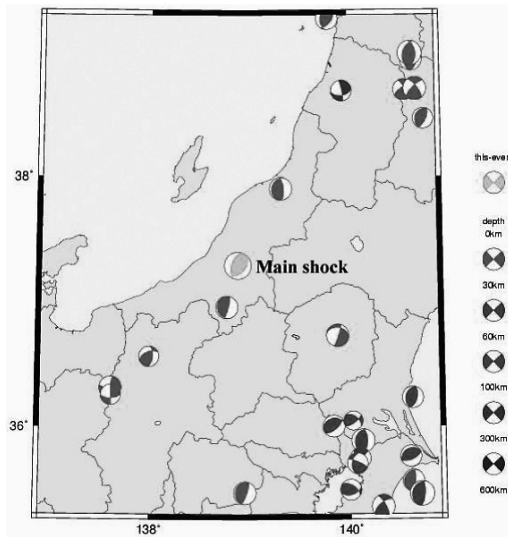


Fig.16 CMT解（気象庁）
CMT solutions (JMA)

余震活動は、時々発生する大きな余震の後に活性化している。余震発生数は過去の地震に比べて多い部類に属し1945年の三河地震（ M_j 6.8）、1943年の鳥取地震（ M_j 7.2）の場合と同程度である（Fig.17）。

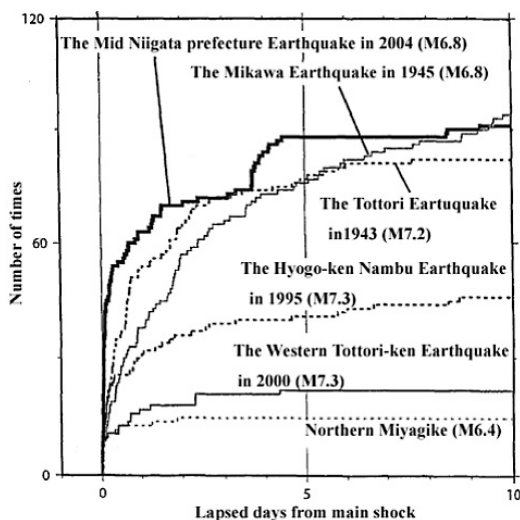


Fig.17 余震活動（気象庁）
After shock activities (JMA)

本地震の発生地域における地質構造の特徴である活褶曲などを含めた活構造をもつ複雑に破碎された地域で発生する地震では規模の大きな余震が起こりやすいが、これは今回の地震のように複数の断層面で発生していることによる可能性が示唆されている。

Fig.18に本震及び余震の震央と活断層を示す。震源域は図中に示した本震及び余震を含む楕円内となる。Fig.18における本震震央の左上の太線が長岡平野西縁断層帯、左下の太線が十日町断層帯、右上の太線が悠久山断層帯、右下の太線が六日町断層帯である。地表面に地震断層が現れた断層として注目された小平尾断層は六日町断層帯の北端に位置する。

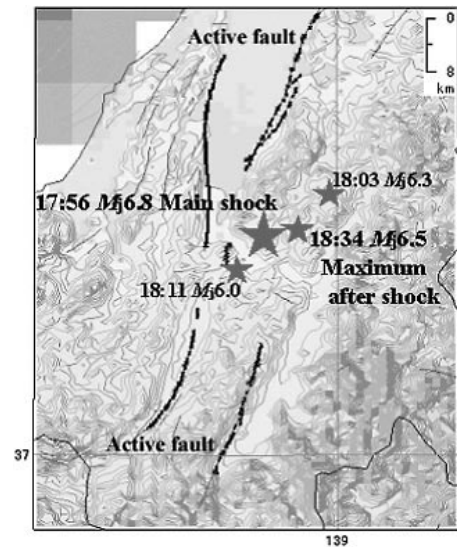


Fig.18 震央と活断層
Location of epicenters and active faults

山中（2004）によると、本震での断層の走向は北北東 - 南南西で、北西傾斜の逆断層タイプ、断層面積は 24×8 km 程度、震源深さは13.2kmと浅く、すべりの大きな破壊はそこから浅い方向に進んだために、地表での揺れが大きくなったものと推定されている。この地震の M_w （モーメントマグニチュード）は6.6、最大すべり量は0.9mとされている。また、最大余震の断層は本震のものとはほぼ平行であるが、震源深さは15.6kmと本震よりも深い位置で発生した。また、最大余震の断層面積は 12×8 km程度、 M_w は6.3とされ、最大すべり量は本震と同じく0.9mとされている。

本震を含む余震の面は、Fig.19に示すように高角な西傾斜で、最大余震を含む余震の面も同じ傾きの西傾斜であるが、それらの面は約5 kmの間隔を隔てている。本震発生の3日後の27日に発生した M_j 6.1の地震は、本震や最大余震とは違って、低角な東傾斜の面をなしている。つまり、本地震において高角西傾斜の本震が発生し、その直後に北端と南端でマグニチュード6クラスの地震が発生し、その約20分後に本震のすぐ東隣で同じ西傾斜の最大余震が発生した。そして、3日後に、さら

に東隣で低角東傾斜の地震が発生した。今回の震源域の中西部では、Fig.18に示したように西傾斜の六日町断層帯、小平尾断層、震源域北部では東傾斜の悠久山断層帯が推定されている。震源域周辺には東山丘陵、魚沼丘陵が位置するが、震源域近傍に向斜、背斜構造が集中して分布している。震央付近には東山背斜が位置する。最大余震により形成された断層面の地上への延長は六日町盆地西縁断層帯と一致し、本震の断層面の地上延長は小平尾断層と必ずしも一致しないと考えられている(東京大学地震研究所, 2004)。

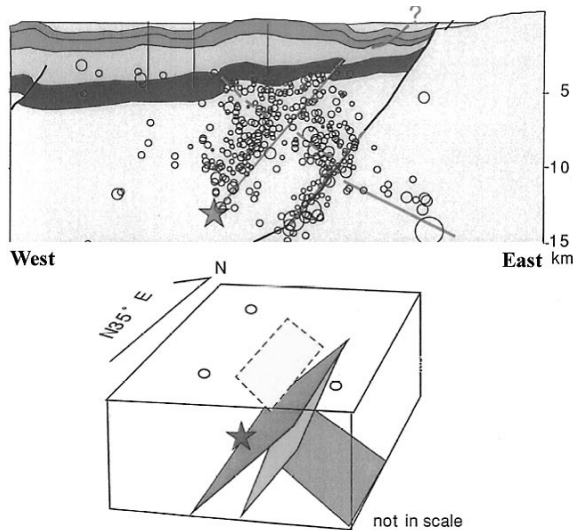


Fig.19 震源分布と震源断層(東京大学地震研究所(2004)に加筆)

Hypocenter distribution and earthquake source faults (Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2004)

電子基準点(GPS連続観測点)のデータ解析によると小千谷市の電子基準点が33cm隆起し、9.5cm西方向へ、北魚沼郡守門村(現・魚沼市)の電子基準点が2cm沈降し、20.8cm北西方向へ、南魚沼郡大和町(現・南魚沼市)の電子基準点が3cm沈降し、11.8cm北西方向へ、移動していることなど、新潟県を中心に広い範囲で地殻変動が認められた。この地殻変動から推定される断層モデルは、走向がほぼ北東から南西方向、長さ約21km、幅約10kmの南東から北西に傾き下がる断層面(傾斜角53度)が、約1.8m北西側地塊が南東側地塊に乗りあがった逆断層と推定され、断層の面積とすべり量から推定されたモーメントマグニチュードは約6.5となっている。断層面の先端部の深さは約2.8kmで、断層の位置は余震の震源分布ともほぼ一致する結果が得られている(国土地理院, 2004a)。

過去の主な地震

新潟県中越地方において歴史資料に現れる最も古い地震は、863年(貞観5年)7月10日の地震(マグニチ

ュードは不明,マグニチュード7以上と推定されている)である。山崩れ、民家の倒壊などにより多数の圧死者が生じ、湧水(液状化と考えられる)も伴ったと記録されている。1670年(寛文10年)6月22日には、南蒲原郡付近でマグニチュード6.3/4の地震が発生し、死者、倒壊家屋などに被害が生じ、盛岡、弘前、江戸でも有感となった。1828年(文政11年)12月18日(早朝)に越後平野南部でマグニチュード6.9の地震(三条地震と呼ばれる)が発生した。液状化現象も多く見られ、三条、燕、見附などで被害が多く、全体で死者1,443人、家屋全壊9,808戸、焼失家屋1,204戸という大惨事を招いた。余震は翌年3月まで続いた。1887年(明治20年)7月22日の古志郡の地震(マグニチュード5.7)では土蔵の壁に亀裂が入る被害が生じた。関原地震は1927年(昭和2年)10月27日10時53分に発生した。マグニチュードは5.2であった。典型的な直下型で、関原で震度の烈震を感じたものの、わずか1~2km程度の範囲にとどまり、地震動を感じた地域はきわめて局所的であり、被害も少なかった。負傷者2人、家屋半壊23戸であった。この地震は3回の前震と60回にも及ぶ余震が本震の発生日と同じ日に発生している。1933年(昭和8年)10月4日8時7分に発生した小千谷の地震では、マグニチュード6.1で川口、堀之内、田麦山等で強い揺れがあった。1961年(昭和36年)2月2日3時39分に長岡付近で地震が発生した。マグニチュードは5.2であった。この地震も典型的な直下型の局発被害地震で、現長岡市古正寺町付近の周辺直径約3kmの範囲で震度であった。被害もこの範囲に限定されたが、それでも死者5人、家屋の全壊220戸、半壊465戸にのぼった。1990年(平成2年)12月7日18時40分、高柳町(現・柏崎市)一帯に強い地震が発生した。震央は柏崎市阿相島付近で、マグニチュードは5.4であった。震源付近は震度の強震と推定され、上越市で震度の中震、長野で震度の軽震をはじめ新潟、相川、富山及び宇都宮などで震度の微震を感じた。その直後の18時40分(マグニチュード5.3)および同43分(マグニチュード4.6)をはじめ、19時41分(マグニチュード4.8)、23時30分(マグニチュード4.9)と立て続けにマグニチュード5クラスの地震が起こり、12月9日までに100回以上の有感地震があった。このように過去のこの地域において発生した地震においても平成16年(2004年)新潟県中越地震と同様にマグニチュード5クラスの活発な余震活動が特徴である。さらに、1992年(平成4年)12月27日11時17分に発生した津南の地震は、マグニチュード4.5にもかかわらず深さが非常に浅かった(約2km)ため、震源に近い津南町上郷を中心とした1km²くらいの狭い地域に被害が生じた。気象官署で有感のところはなかった。1995年(平成7年)4月1日12時49分に新潟県北部の地震(マグニチュード5.5)が笹神村(現・阿賀野市)付近で発生し、相川、新潟で最大震度、震源付近では

～と推定されている。負傷者82人、家屋全壊55戸、家屋半壊181戸、一部破損1,376戸、水道断水764カ所、停電1,409カ所などの被害が発生した。また、2001年（平成13年）1月2日19時53分にも平成16年（2004年）新潟県中越地震の余震域の西約10km（上記の1990年（平成2年）12月7日の地震の付近）でマグニチュード4.4の地震が発生し、高柳町（現・柏崎市）で震度5弱を観測したが、被害は生じていない（茅原，1998；総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会，1999；宇佐美，2003；岡田，2004；卯田，2004；国立天文台，2005）。

このように平成16年（2004年）新潟県中越地震の発生した周辺地域では、マグニチュード5以上の地震が2～3年に一回程度の割合で発生している。これらの地震のなかには活褶曲に關係して発生した地震もあるとされている。

内陸のマグニチュード3.5以上の浅い地震であれば、ところによって震度4以上を観測することがある。新潟県周辺の内陸で平成16年（2004年）新潟県中越地震が発生するまでの過去約24年間に発生したマグニチュード3.5以上の地震は164回で、1年に7回程度の割合で起こっている。なお、同地域の平常時の有感地震は2ヶ月間に1回程度の割合で発生している。1998年（現在の新潟県の震度観測網と同レベルとなった年）から本地震の直前までの7年間弱に余震域近傍で発生した有感地震は37回である。

平成16年（2004年）新潟県中越地震の発生地域は、古くから信濃川地震帯と呼ばれており近年のGPS連続観測データからひずみが集中している結果が得られていた（「新潟 - 神戸歪み集中帯」）。本地震の震源域を含む日本海東縁部（日本海東縁変動帯）はプレート境界が形成されつつあるとも考えられており、過去に大きな地震が帯状に発生している。本地震は大きな地震が発生していない空白域で発生した（茅原，1998；国土地理院，2004b；地震予知連絡会，2004）。

平成16年（2004年）新潟県中越地震の発生地域は、地震予知連絡会が指定していた指定観測地域のなかの「新潟県南西部・長野県北部」に含まれている。指定観測地域とは、過去に地震があった地域、活構造地域（地質時代に活動している）、最近地殻活動が活発な地域、社会的に重要な地域であり、全国に8つ指定されている。全国的に見ると、1978年8月の地域指定以降に発生した M_j 6.7以上の内陸地震はすべて地震予知連絡会の観測強化地域、特定観測地域に指定された地域内で発生している（独立行政法人防災科学技術研究所，2004c；岡田，2004）。

結 言

平成16年（2004年）新潟県中越地震の地震及び地震

動における特徴は以下のとおりである。

- 1) 計測震度になってから初めての震度7の観測であった。本震発生後の1時間以内に震度6強の余震が2回、マグニチュード6以上の余震が4回発生する活発な余震活動を伴う本震 - 余震型の地震活動であった。
- 2) 震度の大きさと加速度の大きさは必ずしも対応しておらず、これらの大きさは震央距離に比例して減少しない。これは、浅い震源断層のため、断層破壊の方向、進行性地震波や観測点のローカルサイトエフェクトなどによって、加速度値のばらつきが現れるためと考えられる。
- 3) 川口町、山古志村（現・長岡市）及び小千谷市では、平成7年（1995年）兵庫県南部地震の神戸海洋気象台における地震動より大きな地震動が同じ程度の地震動であったと推定される。
- 4) この地域において発生した過去の地震においても本地震と同様にマグニチュード5クラスの余震活動が特徴である。
- 5) 上記のような特徴的な余震活動は、複雑に破碎された地域で発生する地震では規模の大きな余震が起こりやすいが、これは今回の地震のように複数の断層面で発生していることによる可能性が示唆されている。
- 6) 本地震の発生地域は、地震予知連絡会が指定していた指定観測地域のなかの「新潟県南西部・長野県北部」に含まれていた。1978年以降に発生した M_j 6.7以上の内陸地震はすべて観測強化地域、特定観測地域に指定された地域内で発生している。
- 7) 過去の地震の被災事例では、震度4以上においてため池、農道等の土構造物の被災が発生しているため、震度の観点からは本地震における広範囲に分布する地点で計測された震度6の地域において土構造物に被災が必ず発生している可能性が高い。しかし、土構造物の固有周波数と地形・地盤条件のサイトエフェクトによる地盤の周波数特性の關係から震度と実際の土構造物の被災は単純な対応關係ではなく複雑な対応關係となっていると考えられる。
- 8) 土構造物の動的特性に影響を及ぼす2Hz以下の周波数が卓越し、かつ大きな最大加速度が記録された川口町、山古志村（現・長岡市）及び小千谷市の観測点の近傍では土構造物に多大な被災が発生していることが推定できる。

参考文献

- 1) 独立行政法人防災科学技術研究所（2004a）：K-NET地震速報（<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/20041023175600/>）

- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所 (2004b) : 強震観測網 (K-NET)・基盤強震観測網 (KiK-net) データによる震度相当値情報 (<http://www.k-net.bosai.go.jp/SHINDO/HTML/>)
- 3) 独立行政法人防災科学技術研究所 (2004c) : 第160回地震予知連絡会議事概要, 防災科学技術研究所資料 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/160/image/020.pdf>)
- 4) 日野幹雄 (1977) : スペクトル解析, 300, 朝倉書店, 東京
- 5) 久田嘉章 (2005) : 新潟県中越地震の地震動と地盤特性, 建築技術5月号 (<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2005/gijutu2005.pdf>)
- 6) 石川有三・中村浩二 (1997) : SEIS-PC for Windows95, 地球惑星科学関連学会1997年大会予稿集, 78
- 7) 地震予知連絡会 (2004) : 第160回地震予知連絡会議事概要, 大竹地震予知連絡会長資料 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/160/imege/019.pdf>)
- 8) 茅原一也 監修 (1998) : 新潟は安全か - 地震, 新潟日報事業社, 新潟
- 9) 気象庁 監修 (1997) : 「震度を知る」 - 知識とその活用 -, (株)ぎょうせい, 東京
- 10) 気象庁 (2004a) : 平成16年 (2004年) 新潟県中越地震に関する各種資料等 (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/index.html)
- 11) 気象庁 (2004b) : 平成16年 (2004年) 新潟県中越地震について - 速報 - (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/sokuho/index.html)
- 12) 気象庁 編集 (2005) : 地震年報 平成16年 (CD-ROM), 財団法人 気象業務支援センター, 東京
- 13) 瀧 瀧 一起・引間和人・三宅弘恵・田中康久 (2005) : 2004年新潟県中越地震 強震動と震源過程 (<http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chuetsu/chuetsu.html>)
- 14) 国土地理院 (2004a) : 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う地殻変動 (第3報) (<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004/1024-3.htm>)
- 15) 国土地理院 (2004b) : 第160回地震予知連絡会議事概要, 国土地理院資料 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/160/index160.html>)
- 16) 国立天文台編 (2005) : 理科年表 平成18年, 第79冊, 698-729, 丸善株式会社, 東京
- 17) 翠川三郎・三浦弘之・秋場俊一 (2004) : 2004年新潟県中越地震の地震動について, 地震工学研究レポート, No.92, 1-10, 東京工業大学都市地震工学センター
- 18) 中田高・今泉俊文 編 (2002) : 活断層詳細デジタルマップ (DAFM0502), 東京大学出版会, 東京
- 19) 岡田義光 (2004) : 日本の地震地図, 11-12, 43-68, 東京書籍株式会社, 東京
- 20) 総務省消防庁 (2005) : 平成16年 (2004年) 新潟県中越地震 (第70報), 災害情報詳細 (<http://www.fdma.go.jp/data/010601011754599052.pdf>)
- 21) 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会 編 (1999) : 日本の地震活動 被害地震から見た地域別の特徴 追補版, 157-182, 財団法人 地震予知総合研究振興会, 東京
- 22) 時松孝次・関口徹 (2005) : 室内試験から求めた K-NET・JMA小千谷の動的変形特性と強震記録に見られる非線形性状との関係, 第40回地盤工学研究発表会平成17年度発表講演会, No. 1059, 2113-2114
- 23) 東京大学地震研究所 (2004) : 第160回地震予知連絡会議事概要, 東京大学地震研究所資料 (<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/JIS/160/image160/014.pdf>)
- 24) 卯田強 (2004) : 新潟の地震その1 -, その2 - (<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/earthquake/>)
- 25) 宇佐美龍夫 (2003) : 最新版 日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会, 東京
- 26) 山中佳子 (2004) : 2004年10月新潟県中越地方の地震 (M_j 6.8, M_j 6.5, M_j 6.1), EIC 地震学ノート No.154+ (http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC154a.html)

The Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 - Earthquakes and Ground Motion -

MASUKAWA Susumu

Summary

This paper describes the feature of earthquakes and ground motion in the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004. It describes on the outline of the main shock and the after shocks of this earthquake. The distribution of a seismic intensity and the maximum acceleration of the main shock are examined by using the seismic intensity and maximum acceleration (peak ground acceleration) of the Japan Meteorological Agency (JMA), and K-NET and KiK-net (the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention). In this examination, the feature of distribution of those on the ground surface and the feature of distribution of which the parameter is the epicentral distance are examined. In observation points near the epicenter, the values of the maximum acceleration in same epicentral distance were greatly different. This is because of the position between the observation points and asperity, and the directivity earthquake wave pulse. The difference between the seismic intensity and the maximum acceleration value by the position of the neighboring observation points is examined from the feature of frequencies by power spectrum of the acceleration wave forms. The strong motion records at this earthquake are compared in this examination with the strong motion records at Kobe Marine Meteorological Observatory (JMA) in the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake. From this examination of power spectrum the strong motion at several observation points was the same strong motion as ground motion in the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake. It describes on the relation between the hypocenters and the active fault of the main shock and the after shocks. It describes the past earthquakes near the mid Niigata prefecture and it describes on the similarity with the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004.

Keywords : main shock, after shock, seismic intensity, acceleration, power spectrum